



EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG

(43) Veröffentlichungstag:
13.12.2023 Patentblatt 2023/50

(51) Internationale Patentklassifikation (IPC):
G01S 13/42^(2006.01)

(21) Anmeldenummer: **23160951.2**

(52) Gemeinsame Patentklassifikation (CPC):
G01S 13/42

(22) Anmeldetag: **09.03.2023**

(84) Benannte Vertragsstaaten:
AL AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB GR HR HU IE IS IT LI LT LU LV MC ME MK MT NL NO PL PT RO RS SE SI SK SM TR
Benannte Erstreckungsstaaten:
BA
Benannte Validierungsstaaten:
KH MA MD TN

(71) Anmelder: **MBDA Deutschland GmbH**
86529 Schrobenhausen (DE)

(72) Erfinder: **SEDLAK, Gerhard**
83209 Prien am Chiemsee (DE)

(74) Vertreter: **Isarpatent**
Patent- und Rechtsanwälte Barth
Charles Hassa Peckmann & Partner mbB
Friedrichstrasse 31
80801 München (DE)

(30) Priorität: **07.06.2022 DE 102022001972**

(54) **VERFAHREN ZUR UMSCHALTUNG ZWISCHEN MIMO-RADAR-BETRIEBSMODI**

(57) Ein Verfahren zur Umschaltung zwischen verschiedenen Betriebsmodi eines MIMO-Radarsystems umfasst die Schritte des Berechnens einer das Kodierungs-/Dekodierungsschema eines Antennenarrays des MIMO-Radarsystems angegebenden Kodierungsmatrix, eines Satzes an Gruppenzentren einer Anzahl von gewünschten Sendeantennengruppen des Antennenarrays sowie einer Antennenpositionsmatrix eines gewünschten virtuellen Empfangsantennenarrays innerhalb des Antennenarrays mittels einer Konfigurationseinrichtung einer Radarfunktionseinheit des MIMO-Radarsystems; des Berechnens von strahlgeformten Sendeantennensignalen in Abhängigkeit des berechneten Satzes an Gruppenzentren mittels einer Signalverarbeitungseinrichtung der Radarfunktionseinheit des MIMO-Radarsystems; des Kodierens der strahlgeform-

ten Sendeantennensignale in Abhängigkeit der berechneten Kodierungsmatrix mittels der Signalverarbeitungseinrichtung; des Ansteuerns des Antennenarrays des MIMO-Radarsystems auf der Basis der kodierten und strahlgeformten Sendeantennensignale; des Dekodierens von nach Empfangsantennengruppen aufgeteilten Empfangsantennensignalen in Abhängigkeit der berechneten Kodierungsmatrix mittels der Signalverarbeitungseinrichtung; und des Berechnens von strahlgeformten Empfangsantennensignalen in Abhängigkeit der berechneten Antennenpositionsmatrix mittels der Signalverarbeitungseinrichtung. Dabei sind die Konfigurationseinrichtung und die Signalverarbeitungseinrichtung als logisch getrennte Module der Radarfunktionseinheit des MIMO-Radarsystems ausgestaltet.

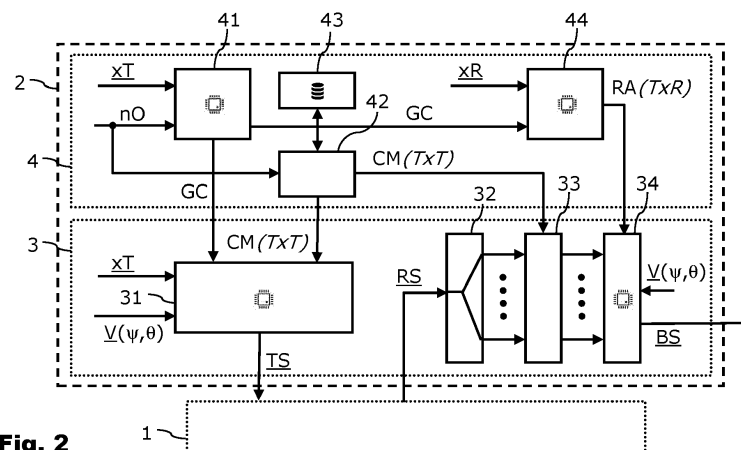


Fig. 2

Beschreibung

TECHNISCHES GEBIET DER ERFINDUNG

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Umschaltung zwischen verschiedenen Betriebsmodi eines MIMO-Radarsystems ("multiple-input multiple-output") sowie ein entsprechend konfiguriertes MIMO-Radarsystem.

TECHNISCHER HINTERGRUND

[0002] Herkömmliche Radarsysteme basieren auf dem Konzept der kohärenten Signalverarbeitung in Send-/Empfangsantennengruppen des Radarsystems, d.h. der Verarbeitung von Empfangssignalen, bei denen die Signalkohärenz erhalten bleibt. Solche Radarsysteme operieren unter dem Prinzip des phasengesteuerten Feldes ("phased array"), gemäß dem phasengesteuerte Sendantennengruppen eine Richtwirkung durch eine Bündelung der Strahlungsenergie einzeln ansteuerbarer Einzelantennen erzielt wird. Häufig wird diese Richtwirkung durch eine entsprechende Ansteuertechnik elektronisch schwenkbar implementiert.

[0003] MIMO-Radarsysteme ("multiple-input multiple-output") sind Systeme mit einer Vielzahl von Send- und Empfangsantennen, bei denen jede Sendantenne unabhängig von den anderen Sendantennen ein beliebiges Sendesignal ausstrahlen kann. Die Reflexionen dieser Sendesignale können von jeder Empfangsantenne empfangen, digitalisiert und einer gemeinsamen Radar-signalverarbeitung unterworfen werden. Die Antennensysteme bzw. das Antennenarray besteht beispielsweise - ohne der Beschränkung der Allgemeinheit - aus M Sendantennen und N Empfangsantennen. Rechnerisch ergibt sich aus diesen Antennenarrays ein virtuelles Antennenfeld aus $M \cdot N$ virtuellen Antennenelementen und einer dementsprechend vergrößerten virtuellen Apertur.

[0004] Durch diese Virtualisierung der Aperturvergrößerung können das räumliche Auflösungsvermögen von MIMO-Radarsysteme deutlich verbessert und die Anfälligkeit gegenüber Störungen, Streustrahlung oder Rauschen erheblich verringert werden. Dies wiederum führt zur einer Verbesserung des Signal-zu-Rauschverhältnisses ("signal-to-noise ratio", SNR), was die Leistungsfähigkeit des Radarsystems bei der Zielerfassung und Zielverfolgung wesentlich erhöhen kann.

[0005] In Antennenarrays eines MIMO-Radarsystems ist die Anzahl und räumliche Anordnung der M Send- und N Empfangsantennen üblicherweise konstant. Dabei lassen sich verschiedene Betriebsarten des MIMO-Radarsystems definieren, die sich im Grad der Orthogonalität der Sendesignale untereinander unterscheiden. Zwischen voller Orthogonalität aller Sendesignale und keiner Orthogonalität der Sendesignale sind hierbei auch Mischformen möglich, bei denen eine Anzahl von K Radarantennengruppen gleicher oder unterschiedlicher Größe gebildet wird, innerhalb derer die Sendesignale

nicht orthogonal zueinander sind, aber eine gruppenübergreifende Orthogonalität herrscht. Die Ansteuerung der Antennenarrays eines MIMO-Radarsystems kann elektronisch erfolgen, d.h. als ein über die Programmierung definiertes Radar ("software defined radar", SDR).

[0006] Die Druckschrift US 2018/0252809 A1 offenbart ein digital programmierbares Radarsystem mit mehreren umschaltbaren Betriebsmodi. Das Dokument A.Hassanien, S.A. Vorobyov: Phased-MIMO Radar, A Tradeoff Between Phased Array and MIMO Radars; IEEE Transactions on Signal Processing, Vol. 68, No. 6, June 2010; pp. 3137 - 3151 offenbart Grundlagen zur Funktionsweise von MIMO-Radarsystemen.

ZUSAMMENFASSUNG DER ERFINDUNG

[0007] Eine der Aufgaben der Erfindung besteht daher darin, Lösungen für die Ausgestaltung von MIMO-Radarsystemen zu finden, so dass sich dynamisch verändernde und potentiell konkurrierende Anforderungen an Radarreichweite, Suchbereichsgröße und Peilgenauigkeit optimal berücksichtigt werden können.

[0008] Diese und andere Aufgaben werden durch die Gegenstände mit den Merkmalen der unabhängigen Ansprüche gelöst.

[0009] Gemäß einem ersten Aspekt der Erfindung umfasst ein Verfahren zur Umschaltung zwischen verschiedenen Betriebsmodi eines MIMO-Radarsystems die Schritte des Berechnens einer das Kodierungs-/Dekodierungsschema eines Antennenarrays des MIMO-Radarsystems angehenden Kodierungsmatrix, eines Satzes an Gruppenzentren einer Anzahl von gewünschten Sendantennengruppen des Antennenarrays sowie einer Antennenpositionsmatrix eines gewünschten virtuellen Empfangsantennenarrays innerhalb des Antennenarrays mittels einer Konfigurationseinrichtung einer Radarfunktionseinheit des MIMO-Radarsystems; des Berechnens von strahlgeformten Sendantennensignalen in Abhängigkeit des berechneten Satzes an Gruppenzentren mittels einer Signalverarbeitungseinrichtung der Radarfunktionseinheit des MIMO-Radarsystems; des Kodierens der strahlgeformten Sendantennensignale in Abhängigkeit der berechneten Kodierungsmatrix mittels der Signalverarbeitungseinrichtung; des Ansteuerns des Antennenarrays des MIMO-Radarsystems auf der Basis der kodierten und strahlgeformten Sendantennensignale; des Dekodierens von nach Empfangsantennengruppen aufgeteilten Empfangsantennensignalen in Abhängigkeit der berechneten Kodierungsmatrix mittels der Signalverarbeitungseinrichtung; und des Berechnens von strahlgeformten Empfangsantennensignalen in Abhängigkeit der berechneten Antennenpositionsmatrix mittels der Signalverarbeitungseinrichtung. Dabei sind die Konfigurationseinrichtung und die Signalverarbeitungseinrichtung als logisch getrennte Module der Radarfunktionseinheit des MIMO-Radarsystems ausgestaltet.

[0010] Gemäß einem zweiten Aspekt der Erfindung

umfasst ein MIMO-Radarsystem ein Antennenarray sowie eine Radarfunktionseinheit, welche eine Konfigurationseinrichtung und eine mit der Konfigurationseinrichtung gekoppelte Signalverarbeitungseinrichtung als logisch getrennte Module aufweist. Die Konfigurationseinrichtung ist dazu ausgelegt, eine das Kodierungs-/Dekodierungsschema des Antennenarrays angegebene Kodierungsmatrix, einen Satz an Gruppenzentren einer Anzahl von gewünschten Sendeantennengruppen des Antennenarrays sowie eine Antennenpositionsmatrix eines gewünschten virtuellen Empfangsantennenarrays innerhalb des Antennenarrays zu berechnen. Die Signalverarbeitungseinrichtung ist dazu ausgelegt, strahlgeformte Sendeantennensignale in Abhängigkeit des berechneten Satzes an Gruppenzentren zu berechnen, die strahlgeformten Sendeantennensignale in Abhängigkeit der berechneten Kodierungsmatrix zu kodieren, das Antennenarray auf der Basis der kodierten und strahlgeformten Sendeantennensignale anzusteuern, nach Empfangsantennengruppen aufgeteilte Empfangsantennensignale in Abhängigkeit der berechneten Kodierungsmatrix zu dekodieren und strahlgeformte Empfangsantennensignalen in Abhängigkeit der berechneten Antennenpositionsmatrix zu berechnen.

[0011] Eine wesentliche Idee der Erfindung besteht darin, innerhalb einer Radarfunktionseinheit eines MIMO-Radarsystems eine logische Trennung zwischen einer Signalverarbeitungseinrichtung und einer Konfigurationseinrichtung vorzunehmen, so dass die Signalverarbeitungseinrichtung ungeachtet der eingestellten Konfiguration immer nach den gleichen Signalverarbeitungsalgorithmen arbeiten kann. Dadurch kann zwischen unterschiedlichen Betriebsmodi des MIMO-Radarsystems flexibel, schnell und ohne großen Anpassungsaufwand umgeschaltet werden. Die Anpassung der für die unterschiedlichen Betriebsmodi notwendigen verschiedenen Verarbeitungsschritte erfolgt ausschließlich in der Konfigurationseinrichtung, die hierzu geeignet formatierte Konfigurationsparametersätze berechnet und der Signalverarbeitungseinrichtung als Eingangsparameter zur Verfügung stellt.

[0012] Je nach eingestelltem Betriebsmodus korreliert der Grad der Gruppierung der Sendesignale zu nicht orthogonalen Gruppensignalen mit dem Verarbeitungsgewinn, was in vorteilhafter Weise zu einer höheren Reichweite und/oder einem verbesserten Signal-Rausch-Verhältnis ("signal-to-noise ratio", SNR) für einen bestimmten Bereich führt. Im selben Maße sinkt mit dem Grad der Gruppierung der Sendesignale zu nicht orthogonalen Gruppensignalen der Grad der Strahlformung, wodurch zwar der Hauptstrahl nicht degradiert, aber die für die Peilung erforderlichen Strahlen und/oder die parallel ausgebildeten Suchstrahlen während der Erfassungsphase verschlechtert werden.

[0013] Durch die flexible Einstellbarkeit von Betriebsmodi des MIMO-Radarsystems kann je nach Betriebssituation auf sich ändernde Anforderungsprofile hinsichtlich Reichweite, Bandbreite, Erfassungsgenauigkeit

und/oder Erfassungsgeschwindigkeit in vorteilhafter Weise reagiert werden.

[0014] Vorteilhafte Ausgestaltungen und Weiterbildungen ergeben sich aus den weiteren Unteransprüchen sowie aus der Beschreibung unter Bezugnahme auf die Figuren.

[0015] Gemäß einigen Ausführungsformen des Verfahrens und des MIMO-Radarsystems können die Konfigurationseinrichtung und die Signalverarbeitungseinrichtung als Softwaremodule innerhalb der Radarfunktionseinheit des MIMO-Radarsystems ausgestaltet sein.

[0016] Gemäß einigen weiteren Ausführungsformen des Verfahrens und des MIMO-Radarsystems kann die Konfigurationseinrichtung die Kodierungsmatrix, den Satz an Gruppenzentren der Anzahl von gewünschten Sendeantennengruppen des Antennenarrays sowie die Antennenpositionsmatrix in Abhängigkeit einer als Eingabeparameter in die Konfigurationseinrichtung eingegebenen Anzahl der verschiedenen untereinander orthogonalen Signalformen berechnen.

[0017] In manchen dieser Ausführungsformen des Verfahrens kann die Anzahl der verschiedenen untereinander orthogonalen Signalformen den Betriebsmodus des MIMO-Radarsystems charakterisieren.

[0018] Die obigen Ausgestaltungen und Weiterbildungen lassen sich, sofern sinnvoll, beliebig miteinander kombinieren. Weitere mögliche Ausgestaltungen, Weiterbildungen und Implementierungen der Erfindung umfassen auch nicht explizit genannte Kombinationen von zuvor oder im Folgenden bezüglich der Ausführungsbeispiele beschriebenen Merkmale der Erfindung. Insbesondere wird dabei der Fachmann auch Einzelaspekte als Verbesserungen oder Ergänzungen zu der jeweiligen Grundform der vorliegenden Erfindung hinzufügen.

KURZE INHALTSANGABE DER FIGUREN

[0019] Die vorliegende Erfindung wird nachfolgend anhand der in den schematischen Figuren angegebenen Ausführungsbeispiele näher erläutert. Es zeigen dabei:

Fig. 1 ein schematisches Blockschaubild eines MIMO-Radarsystems gemäß einer Ausführungsform der Erfindung; und

Fig. 2 ein schematisches Blockschaubild von Details einer Radarfunktionseinheit für ein MIMO-Radarsystem gemäß einer weiteren Ausführungsform der Erfindung.

[0020] Die beiliegenden Figuren sollen ein weiteres Verständnis der Ausführungsformen der Erfindung vermitteln. Sie veranschaulichen Ausführungsformen und dienen im Zusammenhang mit der Beschreibung der Erklärung von Prinzipien und Konzepten der Erfindung. Andere Ausführungsformen und viele der genannten Vorteile ergeben sich im Hinblick auf die Zeichnungen. Die Elemente der Zeichnungen sind nicht notwendigerweise

maßstabsgetreu zueinander gezeigt. Richtungsangebende Terminologie wie etwa "oben", "unten", "links", "rechts", "über", "unter", "horizontal", "vertikal", "vorne", "hinten" und ähnliche Angaben werden lediglich zu erläuternden Zwecken verwendet und dienen nicht der Beschränkung der Allgemeinheit auf spezifische Ausgestaltungen wie in den Figuren gezeigt.

[0021] In den Figuren der Zeichnung sind gleiche, funktionsgleiche und gleich wirkende Elemente, Merkmale und Komponenten - sofern nichts Anderes ausgeführt ist - jeweils mit denselben Bezugszeichen versehen.

BESCHREIBUNG VON AUSFÜHRUNGSBEISPIELEN

[0022] MIMO-Radarsysteme weisen ohne Beschränkung der Allgemeinheit T Sendeantennen und R Empfangsantennen auf. Diese T Sendeantennen und R Empfangsantennen können über ein SDR in verschiedenen Betriebsmodi betrieben werden, die sich jeweils in der Anzahl der orthogonalen Sendesignale unterscheiden. In der nachfolgenden Offenbarung werden verschiedene Techniken beschrieben, welche das MIMO-Radarsystem zwischen den unterschiedlichen Betriebsmodi umschalten können, je nach Anwendung oder Radareinsatzphase. Dabei wird für jeden der unterschiedlichen Betriebsmodi ein spezifischer Parametersatz berechnet, der als Konfigurationsbasis für den in allen Betriebsmodi grundsätzlich gleichen Signalverarbeitungsalgorithmus dient.

[0023] Fig. 1 zeigt eine beispielhafte schematische Darstellung eines MIMO-Radarsystems 10 bei dem die Antennenelemente in einer Zeile und einer Spalte angeordnet sind. Die Einzelantennen können prinzipiell in jeder geeigneten Bauweise bzw. mit jeder gewünschten Abstrahlcharakteristik implementiert werden, wie etwa Hornstrahler oder strukturintegrierte Antennen. Prinzipiell eignet sich aber jede Antennenart für das MIMO-Radarsystems 10.

[0024] Das MIMO-Radarsystem 10 umfasst weiterhin eine Radarfunktionseinheit 2, welche prinzipiell eine Signalverarbeitungseinrichtung 3 sowie eine mit der Signalverarbeitungseinrichtung 3 gekoppelte Konfigurationseinrichtung 4 aufweist. Die Konfigurationseinrichtung 4 kann beispielsweise einen (in Fig. 1 nicht explizit dargestellten) Konfigurationsdatenspeicher aufweisen. Die Signalverarbeitungseinrichtung 3 dient der Ansteuerung der Sendeantennen und der Verarbeitung der über die Empfangsantennen empfangenen Signale. Weitere Komponenten des MIMO-Radarsystems 10 - wie etwa Filter, Sende-/Empfangsumschalter, Modulatoren, Taktgeber, Phasenschieber,

[0025] Anzeigeeinrichtungen und ähnliche für Radargeräte übliche Funktionskomponenten - sind aus Gründen der Übersichtlichkeit in Fig. 1 nicht explizit dargestellt. Die in Fig. 1 dargestellten Komponenten des MIMO-Radarsystems 10 sind nur beispielhafter Natur und weitere Komponenten können im Zusammenhang mit dem MIMO-Radarsystem 10 implementiert werden.

[0026] Fig. 2 zeigt ein schematisches Blockschaubild einer Radarfunktionseinheit, wie beispielsweise der Radarfunktionseinheit 2 der Fig. 1, für ein MIMO-Radarsystem 10 in höherem Detailgrad. Die Radarfunktionseinheit 2 kann dabei beispielsweise ein Verfahren zur Umschaltung zwischen verschiedenen Betriebsmodi eines MIMO-Radarsystems, wie etwa des MIMO-Radarsystem 10 der Fig. 1, umsetzen.

[0027] Die Konfigurationseinrichtung 4 ist dazu ausgebildet, die Funktionen durchzuführen, die notwendig sind, um vom gewünschten Betriebsmodus des MIMO-Radarsystems 10 abhängige Konfigurationsparameter für die Signalverarbeitungseinrichtung 3 zu berechnen und der Signalverarbeitungseinrichtung 3 bereitzustellen. Die Signalverarbeitungseinrichtung 3 wiederum ist dazu ausgebildet, die Funktionen durchzuführen, die notwendig sind, um die Sendeantennenelemente des Antennenarrays 1 entsprechend der von der Konfigurationseinrichtung 4 berechneten Konfigurationsparameter anzusteuern sowie die über die Empfangsantennen des Antennenarrays 1 empfangenen Signale zu verarbeiten

[0028] Die unterschiedlichen Betriebsmodi des MIMO-Radarsystems 10 unterscheiden sich im Wesentlichen in der Anzahl der verschiedenen untereinander orthogonalen Signalformen (nO). Die Strahlformung in der Signalverarbeitungseinrichtung 3 erfolgt dabei prinzipiell in zwei Stufen: der Sendesignalstrahlformung und der Empfangssignalstrahlformung. Je nach Anzahl der verschiedenen untereinander orthogonalen Signalformen (nO) werden drei Konfigurationsparametersätze durch die Konfigurationseinrichtung 4 berechnet: das Kodierungs-/Dekodierungsschema in einer Kodierungsmatrix CM (mit der Ordnung TxT, wobei T die Anzahl der Sendeantennengruppen kennzeichnet), die Gruppenzentren GC der T Sendeantennengruppen sowie die Antennenpositionsmatrix RA (mit der Ordnung TxR, wobei R die Anzahl der Empfangsantennengruppen kennzeichnet) des virtuellen Empfangsantennenarrays. Diese drei von der Konfigurationseinrichtung 4 berechneten und hinsichtlich Struktur und Größe standardisierten Konfigurationsparametersätze werden an die Signalverarbeitungseinrichtung 3 weitergeleitet, die die Sendeantennen des Antennenarrays 1 gemäß den Konfigurationsparametersätzen ansteuert sowie die über die Empfangsantennen des Antennenarrays 1 empfangenen Signale gemäß den Konfigurationsparametersätzen verarbeitet.

[0029] Durch die Verwendung standardisierter Konfigurationsparametersätze und der logischen Trennung der Softwaremodule zwischen Konfigurationseinrichtung 4 und Signalverarbeitungseinrichtung 3 kann die Signalverarbeitungseinrichtung 3 in jedem Betriebsmodus des MIMO-Radarsystems 10 auf die gleiche Weise arbeiten. Die Umschaltung zwischen Betriebsmodi des MIMO-Radarsystems 10 erfolgt über die Konfigurationseinrichtung 4 und die entsprechende Eingabe der gewünschten Anzahl der verschiedenen untereinander orthogonalen Signalformen (nO).

[0030] Die Konfigurationseinrichtung 4 weist ein erstes Berechnungsmodul 41 für die Berechnung der Gruppenzentren GC der Sendeantennengruppen auf. Das Berechnungsmodul 41 erhält die Anzahl nO der Sendeantennengruppen sowie die Positionsvektoren xT der Sendeantennen als Eingabe. Die Anzahl nO der Sendeantennengruppen wird zusätzlich an ein Auswahlmodul 42 eingespeist, welches dazu ausgelegt ist, je nach ausgewählten Betriebsmodus das Kodierungs-/Dekodierungsschema auszuwählen. Hierzu greift das Auswahlmodul 42 auf in einem Konfigurationsdatenspeicher 43 abgelegte vorbestimmte Kodierungsmatrizen CM der Ordnung $T \times T$ zurück und wählt eine der entsprechenden Kodierungsmatrizen CM aus, die dann an die Signalverarbeitungseinrichtung 3 ausgegeben wird.

[0031] Das erste Berechnungsmodul 41 berechnet die Gruppenzentren GC der Sendeantennengruppen und gibt die berechneten Gruppenzentren GC an die Signalverarbeitungseinrichtung 3 einerseits, an das Auswahlmodul 42 und ein zweites Berechnungsmodul 44 der Konfigurationseinrichtung 4 andererseits aus. Das zweite Berechnungsmodul 44 dient zur Berechnung der Antennenpositionsmatrix RA der Ordnung $T \times R$ des virtuellen Empfangsantennenarrays auf der Basis der berechneten Gruppenzentren GC und der Positionsvektoren xR der Empfangsantennen. Das zweite Berechnungsmodul 44 gibt die berechnete Antennenpositionsmatrix RA an die Signalverarbeitungseinrichtung 3 aus.

[0032] Die Signalverarbeitungseinrichtung 3 weist ein Sendestrahlformungsmodul 31 auf, welches auf der Basis der Positionsvektoren xT der Sendeantennen, des normalisierten Vektors v der beabsichtigten Strahlorientierung (wird durch Azimut ψ und Elevationswinkel θ definiert), der berechneten Gruppenzentren GC und der Kodierungsmatrix CM die Sendeantennensignale TS berechnet. Die Sendeantennensignale TS werden über einen Digital-zu-Analog-Wandler (DAC) konvertiert, aufwärtsgewandelt und verstärkt (in Fig. 1 und 2 nicht explizit dargestellt), bevor sie an das Antennenarray 1 zur Ansteuerung der als Sendeantennen 5 fungierenden Antennenelemente abgegeben werden.

[0033] Die Signalverarbeitungseinrichtung 3 weist weiterhin einen Signalteiler 32 auf, welcher die von den als Empfangsantennen 6 fungierenden Antennenelementen des Antennenarrays 1 empfangenen Empfangsantennensignale RS erhält und in die nR Empfangsantennengruppen aufteilt. Jedes der aufgeteilten Empfangsantennensignale RS wird an ein Dekodiermodul 33 weitergeleitet, welches die empfangenen Empfangsantennensignale RS auf der Basis der Kodierungsmatrix CM verarbeitet und dekodiert. Die dekodierten Empfangsantennensignale RS werden dann an ein Empfangsstrahlformungsmodul 34 abgegeben, welches die Antennenstrahlsignale BS auf der Basis des normalisierten Vektors v der beabsichtigten Strahlorientierung und der Antennenpositionsmatrix RA berechnet und nach außen als Ausgabesignal BS des MIMO-Radarsystems 10 ausgibt.

[0034] Im vollständigen MIMO-Betriebsmodus, d.h. wenn alle Sendesignale orthogonal zueinanderstehen, wird die Strahlformung mithilfe der jeweiligen Positionsvektoren xT und xR der Sende- bzw. Empfangsantennen vorgenommen. Dabei ist die Position $V(k,j)$ des jeweiligen virtuellen Arrayelements in Bezug auf die Sendeantenne k und die Empfangsantenne j als $V(k,j) = xT(k) + xR(j)$ definiert. Für eine Strahlformung in einer bestimmten Strahlrichtung wird die Position $V(k,j)$ für alle nT Sendeantennen und alle nR Empfangsantennen mit dem Faktor $\exp(-2\pi i \lambda^{-1} v^* V(k,j))$ gewichtet, wobei λ die Wellenlänge des Radarsignals und v den normalisierten Vektor der beabsichtigten Strahlorientierung (wird durch Azimut ψ und Elevationswinkel θ definiert) bezeichnet.

[0035] Im teilweisen MIMO-Betriebsmodus, d.h. wenn bestimmte Sendeantennen zu Gruppen zusammengestellt werden, innerhalb derer die Sendesignale nicht orthogonal zueinanderstehen, wird die Strahlformung in Sendestrahlformung und Empfangsstrahlformung aufgeteilt. Die Sendeantennengruppen haben dabei jeweils zugeordnete Gruppenzentren. Für eine Strahlformung in einer bestimmten Strahlrichtung wird die Position $V(k,j)$ für alle nT Sendeantennen und alle nR Empfangsantennen mit dem Faktor $\exp(-2\pi i \lambda^{-1} v^* (xT(k) - GC(k))) \cdot \exp((-2\pi i \lambda^{-1} v^* RA(k,j)))$ gewichtet, wobei λ die Wellenlänge des Radarsignals, v den normalisierten Vektor der beabsichtigten Strahlorientierung (wird durch Azimut ψ und Elevationswinkel θ definiert), $xT(k)$ die Position der Sendeantenne k , $GC(k)$ das Gruppenzentrum der jeweiligen der Sendeantenne k zugehörigen Antennengruppe, RA die Antennenpositionsmatrix der virtuellen Empfangsantennen bezeichnet.

[0036] Der gesamte Wichtungsfaktor für Sendeantenne k und Empfangsantenne j ist für beide Fälle der gleiche, unabhängig davon, ob Sendestrahlformung und Empfangsstrahlformung in einem Schritt oder in zwei separaten Schritten vorgenommen werden. Dies ermöglicht es vorteilhafterweise, auch für den vollständigen Betriebsmodus Gruppenzentren zu berechnen, um die Signalverarbeitung unabhängig vom Betriebsmodus immer in zwei separaten Schritten mit Sendestrahlformung und Empfangsstrahlformung vornehmen zu können. Dadurch kann die Signalverarbeitungsvorrichtung 3 in allen Betriebsmodi identisch aufgebaut bzw. implementiert werden.

[0037] Die Kodierungsmatrizen CM können einem Hadamard-Kodierungsschema folgen, d.h. Matrizen mit Einträgen von ± 1 , deren Reihen paarweise orthogonal zueinander sind. Die Reihen der Hadamard-Kodierungsmatrizen CM entsprechend dabei den verschiedenen Sendesignalen, die mit den verschiedenen Reihenelementen gewichtet werden. Die orthogonale Kodierung kann innerhalb eines einzelnen Sendesignalpulses oder über eine Sequenz von Sendesignalpulsen angewandt werden. Für vollständig orthogonale Sendesignale können vollständige Hadamard-Kodierungsmatrizen eingesetzt werden, wohingegen für Gruppen von untereinander

der nicht orthogonalen Sendesignale Hadamard-Kodierungsmatrizen mit entsprechend korrelierenden Reihen oder in der Anzahl der Spalten verkürzte Hadamard-Kodierungsmatrizen eingesetzt werden können. Je nach verwendeter Art von Hadamard-Kodierungsmatrizen kann die Algorithmus-Struktur der Empfängerdekodierung in der Signalverarbeitungseinrichtung 3 angepasst werden. Vorteilhafterweise müssen bei Hadamard-Kodierungsmatrizen gleicher Ordnung für jeden der MIMO-Betriebsmodi weder die Algorithmus-Struktur der Empfängerdekodierung noch das kohärente Verarbeitungsintervall ("coherent processing interval", CPI) oder die Pulsmodulation angepasst werden.

[0038] Das erste Berechnungsmodul 41 berechnet die Gruppenzentren GC der Sendeantennengruppen als $GC(k) = nO \cdot \sum_{j=1}^{T/nO} xT(j)/nT$. Die Sendeantennengruppen können in physikalischer Nachbarschaft zueinander oder arbiträr gruppiert sein, da der Berechnungsalgorithmus der Gruppenzentren GC unabhängig von der tatsächlichen räumlichen Anordnung der einzelnen Sendeantennen untereinander ist.

[0039] Die Antennenpositionsmatrix RA der virtuellen Empfangsantennen berechnet sich in dem zweiten Berechnungsmodul 44 aus der Summe des der jeweiligen Sendeantenne zugeordneten Gruppenzentrums und der Position der jeweiligen Empfangsantenne als $RA(k,j) = GC(k) + xR(j)$.

[0040] Das Sendestrahlformungsmodul 31 gewichtet die Sendesignale mit dem Faktor $\exp(-2\pi i \lambda^{-1} v \cdot (xT(k) - GCk))$ und wendet die Kodierungsmatrix CM von dem Auswahlmodul 42 zur Modulation auf die gewichteten Sendesignale an.

[0041] Das Dekodiermodul 33 führt neben einer von dem MIMO-Betriebsmodus unabhängigen (und daher nicht weiter erläuterten) Bereichsverarbeitung eine Dekodierung mithilfe der von dem Auswahlmodul 42 empfangenen Kodierungsmatrix CM durch. Hierbei werden die Reihen der Hadamard-Kodierungsmatrix CM den jeweiligen durch den Signalteiler 32 aufgeteilten Empfangskanälen zugeordnet.

[0042] Die Verarbeitungsalgorithmen der Signalverarbeitungseinrichtung 3 sind aufgrund der einheitlichen Größe und Struktur der Konfigurationsparametersätze identisch für alle MIMO-Betriebsmodi, was zu einer leichten Umsetzbarkeit des Umschaltens zwischen verschiedenen MIMO-Betriebsmodi führt. Der Nachteil dabei besteht darin, dass manche Rechenschritte innerhalb der Verarbeitungsalgorithmen redundant sind. Insbesondere bei software-implementierten Verarbeitungsmodulen 31, 32, 33 und 34, d.h. unter Vermeidung von Hardware-Logikbausteinen wie etwa FPGAs, können diese redundanten Rechenschritte zu einer erhöhten Ressourcenlast führen.

[0043] Um die Redundanz zu vermeiden, sind z. B. folgende Maßnahmen zu treffen:

- Die Kodierungsmatrizen CM sind so auszugestalten werden, dass sie im Empfangspfad keine redundanten

Formen aufweisen.

- Die Empfangssignale sind in nur nO Empfangskanäle statt nR Empfangskanäle im Signalteiler 32 aufzuteilen.
- Die Antennenpositionsmatrix ist um die redundanten (d.h. gleichen) Gruppenzentren GC zu verringern.

[0044] In der vorangegangenen detaillierten Beschreibung sind verschiedene Merkmale zur Verbesserung der Stringenz der Darstellung in einem oder mehreren Beispielen zusammengefasst worden. Es sollte dabei jedoch klar sein, dass die obige Beschreibung lediglich illustrativer, keinesfalls jedoch beschränkender Natur ist. Sie dient der Abdeckung aller Alternativen, Modifikationen und Äquivalente der verschiedenen Merkmale und Ausführungsbeispiele. Viele andere Beispiele werden dem Fachmann aufgrund seiner fachlichen Kenntnisse in Anbetracht der obigen Beschreibung sofort und unmittelbar klar sein.

[0045] Die Ausführungsbeispiele wurden ausgewählt und beschrieben, um die der Erfindung zugrundeliegenden Prinzipien und ihre Anwendungsmöglichkeiten in der Praxis bestmöglich darstellen zu können. Dadurch können Fachleute die Erfindung und ihre verschiedenen Ausführungsbeispiele in Bezug auf den beabsichtigten Einsatzzweck optimal modifizieren und nutzen. In den Ansprüchen sowie der Beschreibung werden die Begriffe "beinhaltend" und "aufweisend" als neutralsprachliche Begrifflichkeiten für die entsprechenden Begriffe "umfassend" verwendet. Weiterhin soll eine Verwendung der Begriffe "ein", "einer" und "eine" eine Mehrzahl derartig beschriebener Merkmale und Komponenten nicht grundsätzlich ausschließen.

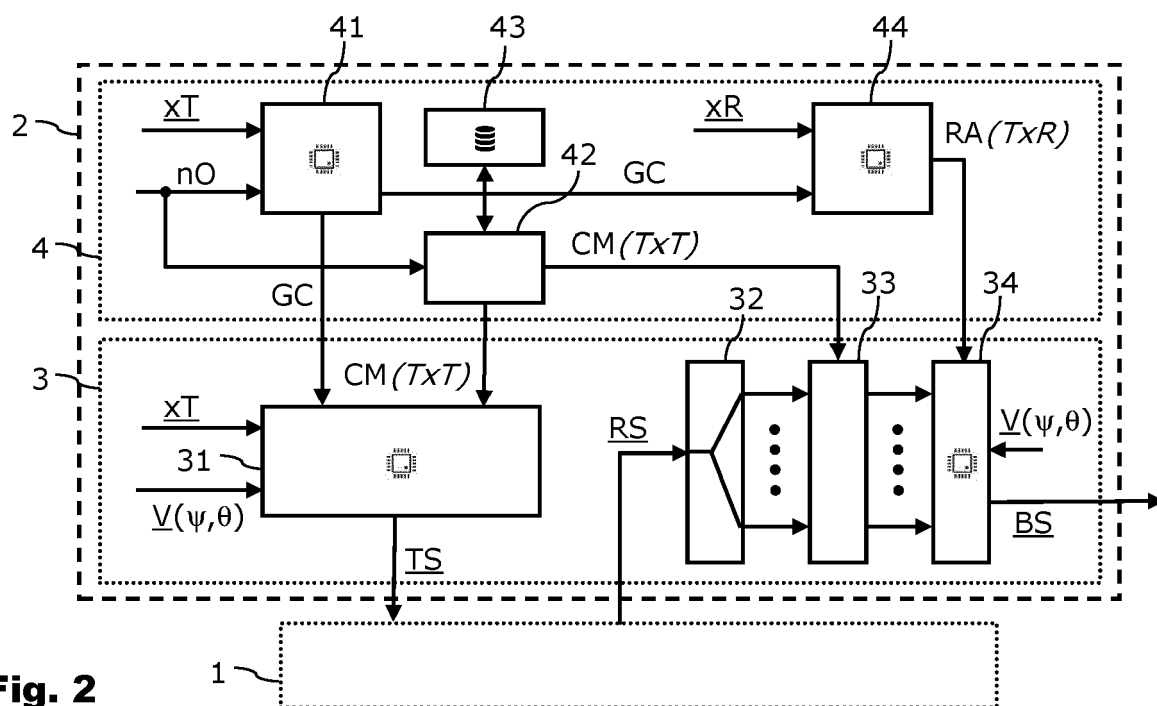
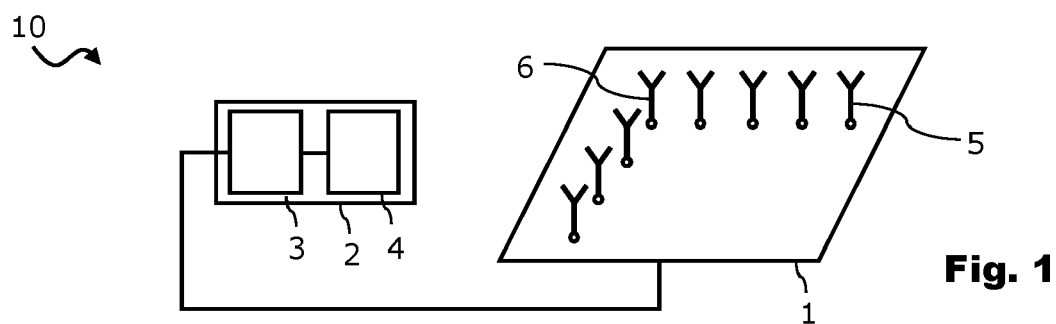
Patentansprüche

1. Verfahren zur Umschaltung zwischen verschiedenen Betriebsmodi eines MIMO-Radarsystems (10), mit den Schritten:

Berechnen einer das Kodierungs-/Dekodierungsschema eines Antennenarrays (1) des MIMO-Radarsystems (10) angegebenden Kodierungsmatrix (CM), eines Satzes an Gruppenzentren (GC) einer Anzahl von gewünschten Sendeantennengruppen des Antennenarrays (1) sowie einer Antennenpositionsmatrix (RA) eines gewünschten virtuellen Empfangsantennenarrays innerhalb des Antennenarrays (1) mittels einer Konfigurationseinrichtung (4) einer Radarfunktionseinheit (2) des MIMO-Radarsystems (10);

Berechnen von strahlgeformten Sendeantennensignalen (TS) in Abhängigkeit des berechneten Satzes an Gruppenzentren (GC) mittels einer Signalverarbeitungseinrichtung (3) der Radarfunktionseinheit (2) des MIMO-Radarsystems (10);

- tems (10);
 Kodieren der strahlgeformten Sendeantennensignale (TS) in Abhängigkeit der berechneten Kodierungsmatrix (CM) mittels der Signalverarbeitungseinrichtung (3);
 Dekodieren von nach Empfangsantennengruppen aufgeteilten Empfangsantennensignalen (RS) in Abhängigkeit der berechneten Kodierungsmatrix (CM) mittels der Signalverarbeitungseinrichtung (3); und
 Berechnen von strahlgeformten Empfangsantennensignalen (RS) in Abhängigkeit der berechneten Antennenpositionsmatrix (RA) mittels der Signalverarbeitungseinrichtung (3), wobei die Konfigurationseinrichtung (4) und die Signalverarbeitungseinrichtung (3) als logisch getrennte Module der Radarfunktionseinheit (2) des MIMO-Radarsystems (10) ausgestaltet sind.
2. Verfahren gemäß Anspruch 1, wobei die Konfigurationseinrichtung (4) und die Signalverarbeitungseinrichtung (3) als Softwaremodule innerhalb der Radarfunktionseinheit (2) des MIMO-Radarsystems (10) ausgestaltet sind.
3. Verfahren gemäß einem der Ansprüche 1 und 2, wobei die Konfigurationseinrichtung (4) die Kodierungsmatrix (CM), den Satz an Gruppenzentren (GC) der Anzahl von gewünschten Sendeantennengruppen des Antennenarrays (1) sowie die Antennenpositionsmatrix (RA) in Abhängigkeit einer als Eingabeparameter in die Konfigurationseinrichtung (4) eingegebenen Anzahl der verschiedenen untereinander orthogonalen Signalformen (nO) berechnet.
4. Verfahren gemäß Anspruch 3, wobei die Anzahl der verschiedenen untereinander orthogonalen Signalformen (nO) den Betriebsmodus des MIMO-Radarsystems (10) charakterisiert.
5. MIMO-Radarsystem (10), umfassend:
- ein Antennenarray (1); und
 eine Radarfunktionseinheit (2), welches eine Konfigurationseinrichtung (4) und eine mit der Konfigurationseinrichtung (4) gekoppelte Signalverarbeitungseinrichtung (3) als logisch getrennte Module aufweist,
 wobei die Konfigurationseinrichtung (4) dazu ausgelegt ist, eine das Kodierungs-/Dekodierungsschema des Antennenarrays (1) angegebene Kodierungsmatrix (CM), einen Satz an Gruppenzentren (GC) einer Anzahl von gewünschten Sendeantennengruppen des Antennenarrays (1) sowie eine Antennenpositionsmatrix (RA) eines gewünschten virtuellen Empfangsantennenarrays innerhalb des Antennenarrays (1) zu berechnen,
 und wobei die Signalverarbeitungseinrichtung (3) dazu ausgelegt ist, strahlgeformte Sendeantennensignale (TS) in Abhängigkeit des berechneten Satzes an Gruppenzentren (GC) zu berechnen, die strahlgeformten Sendeantennensignale (TS) in Abhängigkeit der berechneten Kodierungsmatrix (CM) zu kodieren, das Antennenarray (1) auf der Basis der kodierten und strahlgeformten Sendeantennensignale (TS) anzusteuern, nach Empfangsantennengruppen aufgeteilte Empfangsantennensignalen (RS) in Abhängigkeit der berechneten Kodierungsmatrix (CM) zu dekodieren und strahlgeformte Empfangsantennensignalen (RS) in Abhängigkeit der berechneten Antennenpositionsmatrix (RA) zu berechnen.
6. MIMO-Radarsystem (10) gemäß Anspruch 5, wobei die Konfigurationseinrichtung (4) und die Signalverarbeitungseinrichtung (3) als Softwaremodule innerhalb der Radarfunktionseinheit (2) des MIMO-Radarsystems (10) ausgestaltet sind.
7. MIMO-Radarsystem (10) gemäß einem der Ansprüche 5 und 6, wobei die Konfigurationseinrichtung (4) dazu ausgelegt ist, die Kodierungsmatrix (CM), den Satz an Gruppenzentren (GC) der Anzahl von gewünschten Sendeantennengruppen des Antennenarrays (1) sowie die Antennenpositionsmatrix (RA) in Abhängigkeit einer als Eingabeparameter in die Konfigurationseinrichtung (4) eingegebenen Anzahl der verschiedenen untereinander orthogonalen Signalformen (nO) zu berechnen.
8. MIMO-Radarsystem (10) gemäß Anspruch 7, wobei die Anzahl der verschiedenen untereinander orthogonalen Signalformen (nO) den Betriebsmodus des MIMO-Radarsystems (10) charakterisiert.





EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

Nummer der Anmeldung

EP 23 16 0951

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

1

EPO FORM 1503 03.82 (P04C03)

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (IPC)
A	US 2022/026524 A1 (MARUYAMA TAKASHI [JP] ET AL) 27. Januar 2022 (2022-01-27) * Zusammenfassung; Abbildungen 1, 3, 8, 9 * * Absätze [0050], [0067] - [0075], [0104] - [0109], [0166] - [0169] * -----	1-8	INV. G01S13/42
A,D	US 2018/252809 A1 (DAVIS CURTIS [US] ET AL) 6. September 2018 (2018-09-06) * Zusammenfassung * * Absätze [0006], [0102], [0103]; Anspruch 2 * -----	1-8	
A	ABOULNASR HASSANIEN ET AL: "Phased-MIMO Radar: A Tradeoff Between Phased-Array and MIMO Radars", ARXIV.ORG, CORNELL UNIVERSITY LIBRARY, 201 OLIN LIBRARY CORNELL UNIVERSITY ITHACA, NY 14853, 15. August 2009 (2009-08-15), XP080362088, DOI: 10.1109/TSP.2010.2043976 * Zusammenfassung * -----	1-8	RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (IPC) G01S
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			
Recherchenort München		Abschlußdatum der Recherche 25. Oktober 2023	Prüfer Lupo, Emanuela
KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTE X : von besonderer Bedeutung allein betrachtet Y : von besonderer Bedeutung in Verbindung mit einer anderen Veröffentlichung derselben Kategorie A : technologischer Hintergrund O : nichtschriftliche Offenbarung P : Zwischenliteratur T : der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze E : älteres Patentdokument, das jedoch erst am oder nach dem Anmeldedatum veröffentlicht worden ist D : in der Anmeldung angeführtes Dokument L : aus anderen Gründen angeführtes Dokument & : Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument			

**ANHANG ZUM EUROPÄISCHEN RECHERCHENBERICHT
ÜBER DIE EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG NR.**

EP 23 16 0951

5 In diesem Anhang sind die Mitglieder der Patentfamilien der im obengenannten europäischen Recherchenbericht angeführten Patentedokumente angegeben.
Die Angaben über die Familienmitglieder entsprechen dem Stand der Datei des Europäischen Patentamts am
Diese Angaben dienen nur zur Unterrichtung und erfolgen ohne Gewähr.

25-10-2023

10	Im Recherchenbericht angeführtes Patentedokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
15	US 2022026524 A1	27-01-2022	AU 2019426474 A1	19-08-2021
			CN 113348594 A	03-09-2021
			DE 112019006800 T5	11-11-2021
			DE 112019006801 T5	11-11-2021
			JP 7066015 B2	12-05-2022
			JP 7150068 B2	07-10-2022
			JP WO2020157916 A1	14-10-2021
			JP WO2020158009 A1	30-09-2021
20			US 2022026524 A1	27-01-2022
			US 2022069477 A1	03-03-2022
			WO 2020157916 A1	06-08-2020
			WO 2020158009 A1	06-08-2020
25	US 2018252809 A1	06-09-2018	US 2018252809 A1	06-09-2018
			US 2019271776 A1	05-09-2019
			US 2022350020 A1	03-11-2022
			US 2023243964 A1	03-08-2023
30				
35				
40				
45				
50				
55				

EPO FORM P0461

Für nähere Einzelheiten zu diesem Anhang : siehe Amtsblatt des Europäischen Patentamts, Nr.12/82

IN DER BESCHREIBUNG AUFGEFÜHRTE DOKUMENTE

Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde ausschließlich zur Information des Lesers aufgenommen und ist nicht Bestandteil des europäischen Patentdokumentes. Sie wurde mit größter Sorgfalt zusammengestellt; das EPA übernimmt jedoch keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.

In der Beschreibung aufgeführte Patentdokumente

- US 20180252809 A1 [0006]

In der Beschreibung aufgeführte Nicht-Patentliteratur

- **A.HASSANIEN ; S.A. VOROBYOV.** Phased-MIMO Radar, A Tradeoff Between Phased Array and MIMO Radars. *IEEE Transactions on Signal Processing*, Juni 2010, vol. 68 (6), 3137-3151 [0006]